



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 196 49 082 C 1

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 25 J 3/04**  
B 25 J 13/00  
A 61 B 17/00  
A 61 B 19/00  
B 23 Q 15/00

②① Aktenzeichen: 196 49 082.0-15  
②② Anmeldetag: 27. 11. 96  
④③ Offenlegungstag: —  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 8. 1. 98

DE 196 49 082 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ Vertreter:  
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188  
Stuttgart

⑦② Erfinder:  
Weisener, Thomas, Dr.-Ing., 71254 Ditzingen, DE;  
Barth, Oliver, Dipl.-Ing., 70569 Stuttgart, DE; Vögele,  
Gerald, Dipl.-Ing., 71108 Magstadt, DE; Wapler,  
Matthias, Dipl.-Ing., 70563 Stuttgart, DE; Urban,  
Volker, Dr.med, 65307 Bad Schwalbach, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

GB	20 13 617 A
US	51 03 403 A
US	39 04 042
WO	96 26 044 A2

⑤④ Vorrichtung zur Fernsteuerung eines Werkzeugs

⑤⑦ Bei einer Vorrichtung zur remotiven Steuerung eines  
Werkzeugs sind zwei Hexapode vorgesehen, wobei an  
einem Hexapod das Werkzeug befestigt und am anderen  
Hexapod ein Sitz für die Bedienperson angeordnet ist. Die  
Bedienperson steuert über ein Eingabegerät das Werkzeug,  
wobei die Bewegungen des Werkzeugs als Feedback an den  
zweiten Hexapod zurückgeleitet werden und dadurch der  
Bedienperson Sinneseindrücke von der Bewegung des  
Werkzeugs vermittelt werden.

Best Available Copy

DE 196 49 082 C 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Fernsteuerung eines Werkzeugs. Die Erfindung betrifft außerdem bevorzugte Verwendungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Aus der WO 96/26044 A2 ist eine Vorrichtung zur Fernsteuerung eines Werkzeugs bekannt geworden, welche einen das Werkzeug aufnehmenden Werkzeughalter aufweist, der von einer Gelenkanordnung getragen wird. Aus der US 51 03 403 A ist ein ein Werkzeug aufnehmender Werkzeughalter bekannt geworden, der von einem Hexapoden getragen wird.

Aus dem Stand der Technik ist zur teilautomatischen Durchführung von Gehirnoperationen ein 7-achsiges Robotersystem mit der Bezeichnung "Minerva" bekannt. Unter der Aufsicht eines Chirurgen führt der Roboter komplette stereotaktische Eingriffe durch. Überwacht wird der Ablauf der gesamten Operation durch einen Computertomograph. Die Operation selbst besteht aus dem Einführen einer Sonde mit 2 bis 3 mm Durchmesser in das Gehirn des Patienten durch ein Loch in der Schädeldecke. Einsatzgebiete sind u. a. auch die Operation von Hämatomen oder Abszessen im Gehirn oder die Implantation einer Strahlungsquelle in tiefer liegende Tumore.

Beim vollständigen Ersatz eines Hüftgelenks durch ein Implantat, wird der Hüftknochen vom Chirurgen so ausgehöhlt, daß das Implantat eine möglichst gute Passung erhält. Um diese Aufgabe präziser als bei manueller Bearbeitung durchzuführen, wurde ein Robotersystem mit der Bezeichnung "Robodoc" entwickelt, das den Hüftgelenksknochen paßgenau ausfräst. Die Bewegungsführung erfolgt über einen Computertomograph, der die Relativlage zwischen Roboter und Knochen anpeilt.

Unter der Bezeichnung "AESOP" (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning) ist ein Robotersystem bekannt geworden, das während einer minimal-invasiven Operation das Laparoskop führen kann.

Ebenfalls für laparoskopische Operationen ist das System "Artemis" (Advanced Robot and Telem manipulator System for MIS) entwickelt worden. Es besteht aus einem Bediensystem, einem Arbeitssystem (chirurgische Endeffektoren und Endoskop) und einem Steuerungssystem mit der Bezeichnung "KISMET".

Diese Vorrichtungen weisen allesamt den Nachteil auf, daß die Bedienperson, insbesondere ein Chirurg, keine direkten Sinneseindrücke vom Werkzeug erfährt. Eine exakte Handhabung des Werkzeugs ist daher nicht möglich.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einer Vorrichtung zur Fernsteuerung eines Werkzeugs gelöst, welche aufweist: einen das Werkzeug aufnehmenden Werkzeughalter, einen den Werkzeughalter tragenden ersten Hexapoden, einen den ersten Hexapoden ansteuernden Steuerungsrechner, einen mit dem Steuerungsrechner verbundenen zweiten Hexapoden, wobei der zweite Hexapode einen Stuhl für einen Benutzer trägt, sowie ein Eingabegerät und eine Anzeigeeinrichtung, die ebenfalls mit dem Steuerungsrechner verbunden sind.

Die Bedienperson gibt bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung über das Eingabegerät die Steuerbefehle ein, wobei die Steuerbefehle über den Steuerungsrechner dem ersten Hexapoden zugeleitet werden. Der erste Hexapode bewegt das Werkzeug in die gewünschte Position bzw. führt das Werkzeug so, daß dieses die ge-

wünschten Bewegungen ausführt. Diese Bewegungen, welche das Werkzeug ausführt, werden über den Steuerungsrechner auch dem zweiten Hexapoden zugeführt, der den Stuhl, auf dem die Bedienperson sitzt, in Bewegung versetzt. Die minimalen Bewegungen des Werkzeugs werden zeitgleich auf den Stuhl übertragen. Auf diese Weise erhält die Bedienperson ein aktives Feedback seiner Aktionen, die ihn über den in allen Raumrichtungen beschleunigbaren Stuhl (vergleichbar mit einem Flugzeugsimulator) zurückgegeben werden. Auf diese Weise wird die Bedienperson z. B. bei schnellen Bewegungen oder starken Auslenkungen oder beim Erreichen der Grenzen des Arbeitsraumes oder bei Kollisionen gewarnt. Die Bedienperson erhält also über die Bewegung des Stuhls eine durch den eigenen Gleichgewichtssinn übertragene Rückmeldung über die Lage und Orientierung des Werkzeugs, so daß weitere Aktionen koordiniert werden können.

Eine erfindungsgemäße Verwendung der eingangs genannten Vorrichtung wird im Bereich der Medizintechnik als Operationsvorrichtung gesehen, insbesondere in der Chirurgie im Submillimeter-Bereich, wie der Neurochirurgie, der Ophthalmologie, der HNO-Chirurgie, der Orthopädie usw., wobei das Werkzeug als Endoskop oder als ein anderes chirurgisches Besteck ausgebildet ist. Insbesondere in einem Miniatur-Arbeitsraum im Submillimeter-Bereich können die Grenzen des Arbeitsbereiches, insbesondere bei der Stereotaxie leicht überschritten werden, so daß Operationen sehr gefährlich sind, da kleinste Strukturen wie Nerven oder Blutgefäße zerstört werden können.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist außerdem den wesentlichen Vorteil auf, daß die Bedienperson taktile und visuelle Eindrücke von der Operationsstelle erhält und unmittelbar reagieren kann.

Daneben können, bedingt durch die große Steifigkeit und der damit verbundenen Genauigkeit der Hexapoden, Aufgaben mit höherem Kraftaufwand präzise durchgeführt werden. Mögliche Bearbeitungsvorgänge, wie das Bohren oder Fräsen von Knochen, sind exakt durchführbar. Neben Operationen an der Wirbelsäule sind gleichermaßen gut feinfühlig Operationen am Innenohr oder am Auge ausführbar.

Ein weiteres Anwendungsgebiet der erfindungsgemäßen Vorrichtung in der Medizintechnik besteht darin, die Vorrichtung als stabilen Träger und Führungssystem z. B. für ein Operationsmikroskop einzusetzen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß der Steuerungsrechner eine Skaliereinheit zur Skalierung der über das Eingabegerät eingegebenen Signale aufweist. Auf diese Weise können kleinste, feindosierte Bewegungen im Submillimeter-Bereich ausgeführt werden, wobei der Tremor der Bedienperson vollständig ausgefiltert wird. Durch die Bewegungsübersetzung sind mikroskopische Bewegungen ausführbar, wobei auch die visuellen Signale entsprechend skaliert werden, so daß die Bewegung des Werkzeugs exakt verfolgt werden kann.

Bei Ausführungsbeispielen ist vorgesehen, daß das Eingabegerät zur Bewegungssteuerung ein Joystick, eine Spacemaus, ein Datenhandschuh, eine Tastatur u. dgl. ist. Auf diese Weise können die Befehle der Bedienperson präzise und exakt übermittelt werden. Weitere Eingabegeräte betreffen die Steuerung des Werkzeugs bzw. der Werkzeuge wie beispielsweise Laser, HF-Schneidegeräte, Scheren u. dgl.

Bei Ausführungsformen ist die Anzeigeeinrichtung ein 3-D-Bildschirm, eine 3-D-Brille oder ein Virtual Rea-

lity-System oder eine über der Bedienperson angeordnete sphärische, insbesondere halbkugelförmige Projektionsleinwand. Zur Übermittlung der visuellen Eindrücke ist vorteilhaft am Werkzeug eine Miniaturkamera, insbesondere eine 3-D-Kamera vorgesehen. Auf diese Weise können direkt die Bewegungen des Werkzeugs visuell nachvollzogen werden, wobei über das Bedieninterface des zweiten Hexapoden die Bewegungen auch in Form von taktilen Eindrücken der Bedienperson vermittelt werden.

Außer der Lage des Werkzeugs können über am Werkzeug vorgesehene Sensoren auch Kräfte und/oder Momente erfaßt und der Bedienperson z. B. durch taktile Eindrücke oder Audio-Visuelle-Signale übermittelt werden.

Um die Arbeitsstelle auch direkt visuell zugänglich zu machen, ist der Werkzeughalter durchsichtig ausgebildet, insbesondere aus durchsichtigem Kunststoff oder Glas hergestellt. Auf diese Weise können Hilfspersonen, z. B. OP-Schwester usw. den Eingriff direkt mitverfolgen.

Vorteilhaft kann der Halter für den ersten Hexapoden ringförmig ausgebildet sein, so daß zum einen das Handhabungsgewicht der gesamten Bearbeitungsvorrichtung verringert wird, zum anderen für das Werkzeug eine größere Bewegungsfreiheit besteht. Außerdem erlaubt ein ringförmiger Halter eine noch bessere Einsicht der Operationsstelle. In diesem Bereich können z. B. auch weitere Operationsinstrumente oder eine Kamera angeordnet sein.

Eine weitere Vergrößerung des Arbeitsfeldes wird dadurch geschaffen, daß das Werkzeug zusätzlich in z-Achse (d. h. in Werkzeuglängsachse) verfahrbar ist. Dies wird insbesondere durch die erfindungsgemäße Anordnung der Hexapodantriebe erleichtert.

Vorzugsweise sind die Hexapodantriebe ringförmig angeordnet. Sie erstrecken sich dabei zwischen dem Werkzeughalter und dem Halter für den Hexapoden im Wesentlichen auf einer Mantellinie eines Zylinders oder eines Kegels. Dies hat den wesentlichen Vorteil, daß das Werkzeug vom Werkzeughalter ungestört geführt werden kann und dadurch ein sehr großer Arbeitsraum geschaffen wird.

Um das Einsatzgebiet der erfindungsgemäßen Vorrichtung zu erhöhen ist vorteilhaft eine Werkzeugwechselvorrichtung vorgesehen. Dabei kann das Werkzeug über eine Schnellwechselvorrichtung, insbesondere über einen Bajonettanschluß mit dem Werkzeughalter verbunden sein. Auf diese Weise kann bei Bedarf das Werkzeug entweder manuell oder automatisch ausgewechselt werden, so daß Operationen, bei denen mehrere unterschiedliche Werkzeuge benötigt werden, durchgeführt werden können. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel, welches mit in den Schutzbereich der Erfindung fällt, kann die Werkzeugwechselvorrichtung auch als Werkzeugrevolver ausgestaltet sein. Ein Werkzeugwechsel bei dieser Ausführungsform ist noch schneller möglich.

Der geringe Platzbedarf und das geringe Gewicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung erlauben dessen Anbringung z. B. an einen stereotaktischen Rahmen bzw. an einen Rahmen, der mit dem zu behandelnden Körperteil des Patienten fest verbunden ist. Auf diese Weise sind z. B. der Kopf des Patienten und die erfindungsgemäße Vorrichtung zueinander fixiert. Bewegt sich der Patient während der Operation, bleibt die Relativlage zwischen Werkzeug und Kopf erhalten. Diese Koppelung von Patient und Vorrichtung minimiert das Risiko

von Verletzungen bei Bewegungen des Patienten. Durch den kompakten Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird das Operationsumfeld nur geringfügig gestört. Der erste Hexapode kann auf Wunsch des Chirurgen schnell vom Operationsfeld entfernt werden. Dadurch ist der Übergang von der vollautomatischen zur klassischen Operation jederzeit möglich.

Eine Vergrößerung des Arbeitsraums des Roboters wird dadurch geschaffen, daß der erste Hexapode an einem horizontal verschiebbar und/oder verschwenkbar gelagerten Träger befestigt ist. Dieser Träger kann z. B. mit dem OP-Tisch gekoppelt sein. Außerdem kann der erste Hexapode über Schienen im Raum verfahrbar und/oder verschwenkbar sein. Diese Schienen sind vorzugsweise als C-Bügel ausgeführt, so daß sie den Patienten teilweise umgreifen und den ersten Hexapoden jeder Operationsstelle halten können. Zusätzlich kann der erste Hexapode zusammen mit dem C-Bügel geschwenkt und arretiert werden und/oder entlang des OP-Tisches in Längsrichtung verfahren werden.

Dadurch, daß die Hexapoden wasserhydraulisch antriebbare sind und daß nichtmetallische Werkstoffe, wie beispielsweise Faserverbundwerkstoffe verwendet werden, kann das System auch in der Computertomographie und der Kernspintomographie eingesetzt werden. Auf diese Weise kann unter Sicht operiert und navigiert werden.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß das Gesamtsystem dampfsterilisierbar ist und der erste Hexapode mit einer Schlauchfolie überzogen werden kann.

Ein weiteres Einsatzgebiet der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird darin gesehen, daß diese als Telemanipulator oder als sich bewegender Roboter in unstrukturiertem, unbekannten oder gefährlichem Gelände verwendet wird. So können z. B. sich bewegende Roboter in Bereichen der Kernkraftwerkstechnik oder von Wiederaufbereitungsanlagen für Kernbrennstäbe eingesetzt werden.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnung ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel im Einzelnen dargestellt ist. Dabei können die in der Zeichnung dargestellten und in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei der Anwendung in der Medizintechnik;

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht eines ersten Hexapods bei der Stereotaxie; und

Fig. 3 ein weiteres Anwendungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei einer dorsalen Wirbelsäulenoperation.

In der Fig. 1 ist der prinzipielle Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt und mit dem Bezugszeichen 1 ein Steuerungsrechner bezeichnet. An diesen Steuerungsrechner 1 ist über eine Datenleitung 2 ein insgesamt mit 3 bezeichneter patientenfixer Operationsroboter angeschlossen. Außerdem ist über Datenleitungen 4 und 5 ein insgesamt mit 6 bezeichneter Feedback-Operationsstuhl an den Steuerungsrechner 1 angeschlossen. Der Operationsroboter 3 ist über eine Roboterführung 7, die insbesondere von einer C-förmigen Schiene 8 gebildet wird, an einer Halterung 9 befestigt. Diese Halterung 9 ist sowohl in Richtung des Pfeils 10 verschiebbar als auch verschwenkbar an einem OP-

Tisch 11 festgelegt. Auf diesem OP-Tisch 11, der seinerseits an einer Deckenhalterung 12 befestigt ist, befindet sich ein Patient 13. Am Kopf 14 des Patienten 13 ist ein stereotaktischer Rahmen 15 befestigt. Über diesen stereotaktischen Rahmen 15 sind der Operationsroboter 3 und der Kopf 14 des Patienten 13 zueinander fixiert. Bewegt sich der Patient 13 während der Operation, bleibt die Relativlage zwischen dem Operationsroboter 3 und dem Kopf 14 erhalten.

Der Operationsroboter 3 weist einen ringförmigen Halter 16 für einen ersten Hexapoden 17 auf. Dieser Hexapode 17 besitzt insgesamt sechs Hexapodantriebe 18, die ihrerseits an einem Werkzeughalter 19, der insbesondere aus durchsichtigem Kunststoff oder Glas hergestellt ist, festgelegt sind. An diesem Werkzeughalter 19 ist ein Werkzeug 20, insbesondere ein Endoskop 21 festgelegt. Über den ersten Hexapoden 17 wird dieses Endoskop 21 bewegt und insbesondere durch eine Schädelöffnung 22 an die zu operierende Stelle herangeführt. Die Signale zum Bewegen des Endoskops 21 werden vom Steuerungsrechner 1 dem ersten Hexapoden 17 über die Datenleitung 2 zugeführt. Der Steuerungsrechner 1 erhält die Steuersignale vom Operationsstuhl 6, insbesondere von einem als Joystick ausgebildeten Eingabegerät 23. Diese vom Eingabegerät 23 ausgehenden Steuersignale werden außerdem über die Datenleitung 5 einem zweiten Hexapoden 24 zugeleitet, der ebenfalls sechs Hexapodantriebe 25 aufweist. An diesen Hexapodantrieben 25 ist ein Sitz 26 befestigt, auf dem die Bedienperson während der Bedienung der Vorrichtung Platz nimmt. Außerdem befindet sich im Blickfeld der Bedienperson ein 3-D-Bildschirm 27, der mit dem Sitz gekoppelt ist und ebenfalls über die Datenleitung 4 mit Daten vom Steuerungsrechner 1 gespeist wird.

Werden durch Manipulationen des Eingabegeräts 23 Daten in den Steuerungsrechner 1 eingegeben, dann werden diese Daten in skaliert Form über die zweite Datenleitung an den ersten Hexapoden 7 übertragen, wodurch das Endoskop 21 bewegt wird. Die Bedienperson erhält außerdem vom Steuerungsrechner 1 über die Datenleitung 5 ein aktives Feedback seiner Aktionen am Eingabegerät 23 und somit der Bewegungen des Endoskops 21, die ihn über den in allen Raumrichtungen beschleunigbaren Sitz 26, der vom zweiten Hexapoden 24 angetrieben wird, in skaliert Form zurückgegeben werden. Auf diese Weise wird die Bedienperson bei zu schnellen Bewegungen oder zu starken Auslenkungen oder beim Erreichen der Grenzen des Arbeitsraumes oder bei Kollisionen gewarnt. Außerdem bekommt die Bedienperson wie beim Flugzeugsimulator Gefühl der Bewegungen, wodurch die Orientierung unterstützt und erleichtert wird. An der Spitze des Endoskops 21 befindet sich eine 3-D-Kamera, die Bilder vom Operationsraum aufnimmt. Diese Signale werden über die Datenleitung 2 dem Steuerungsrechner zugeführt und am 3-D-Bildschirm 27 in Form von Bildern dargestellt. Außerdem ist das Endoskop 21 mit Sensoren versehen, die Kräfte und Momente aufnehmen können. Diese Signale werden ebenfalls über die Datenleitung 2 dem Steuerungsrechner 1 zugeführt und entweder optisch am 3-D-Bildschirm 27, akustisch oder als taktiles Signal an den zweiten Hexapoden 24 weitergeleitet.

In der Fig. 2 ist eine perspektivische Ansicht des Operationsroboters 3 sowie des Patienten 13 dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, wie das Endoskop 21 den ersten Hexapoden 17 durchdringt und von den im wesentlichen ringförmig angeordneten Hexapodantrieben 18 umgeben ist. Außerdem ist der durchsichtige Werk-

zeughalter 19 erkennbar, in welchem das Werkzeug 20 insbesondere in einer Schnellwechsellvorrichtung gehalten ist. Die Hexapodantriebe 18 sind am ringförmigen Halter 16 abgestützt, der seinerseits an der schienenförmigen Roboter-Führung 7 festgelegt ist. Die Führung 7 ist ihrerseits an der Halterung 9 befestigt, die am OP-Tisch 11 verschiebbar und schwenkbar abgestützt ist.

In Fig. 3 ist erkennbar, daß durch Verschiebung der schienenförmigen Roboterführung 7 die Position des ersten Hexapoden 17 veränderbar ist. Die Halterung 9 weist hierfür eine Schiebelagerung 28 für die Schienen 8 auf. Schließlich ist die Schwenklagerung 29 der Halterung 9 erkennbar. Die Schiebelagerung 28 und die Schwenklagerung 29 erlauben ein sofortiges Entfernen des Operationsroboters 3, so daß bei Bedarf die automatische Operation durch eine klassische Operation fortgesetzt werden kann. Aus den Fig. 2 und 3 wird außerdem deutlich, daß der gesamte Operationsroboter 3 mit Roboter-Führung 7 mit einer Schlauchfolie überzogen werden kann.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind also zwei Hexapoden vorgesehen, wobei an einem Hexapoden das Werkzeug befestigt und am anderen Hexapoden ein Sitz für die Bedienperson angeordnet ist. Die Bedienperson steuert über ein Eingabegerät das Werkzeug, wobei die Bewegungen des Werkzeugs als Feedback an den zweiten Hexapoden zurückgeleitet werden und dadurch der Bedienperson Sinneseindrücke von der Bewegung des Werkzeugs vermittelt werden.

Weitere Modifikationen durch den Einsatz von mehreren ersten Hexapoden zur Manipulation von mehreren Werkzeugen ist ohne weiteres denkbar.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Fernsteuerung eines Werkzeugs (20) mit einem das Werkzeug (20) aufnehmenden Werkzeughalter (19), einem den Werkzeughalter (19) tragenden ersten Hexapoden (17), einem den ersten Hexapoden (17) ansteuernden Steuerungsrechner (1), einem mit dem Steuerungsrechner (1) verbundenen zweiten Hexapoden (24), wobei der zweite Hexapode (24) einen Sitz (26) für einen Benutzer trägt, sowie mit einem Eingabegerät (23) und einer Anzeigeeinrichtung (27), die ebenfalls mit dem Steuerungsrechner (1) verbunden sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Steuerungsrechner (1) eine Skalereinheit zur Skalierung der über das Eingabegerät (23) eingegebenen Signale aufweist.
3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Eingabegerät (23) ein Joystick, eine Spacemaus, ein Datenhandschuh, eine Tastatur o. dgl. ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzeigeeinrichtung ein 3-D-Bildschirm (27), eine 3-D-Brille oder ein Virtual-Reality-System ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkzeug (20) mit Kräfte und/oder Momente aufnehmenden Sensoren bestückt ist.
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß am Werkzeug (20) eine Miniatur-Kamera, insbesondere eine 3-D-Kamera vorgesehen ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der

Werkzeughalter (19) durchsichtig ist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Halter (16) für den ersten Hexapoden (17) ringförmig ausgebildet ist.

5

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Hexapodantriebe (18) ringförmig, insbesondere in der Mantelebene eines Zylinders oder Kegels angeordnet sind.

10

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Werkzeugrevolver zur Aufnahme mehrerer Werkzeuge oder eine Werkzeugwechseleinrichtung vorgesehen ist.

15

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkzeug (20) über eine Schnellwechsellvorrichtung, insbesondere über einen Bajonettanschluß mit dem Werkzeughalter (19) verbunden ist.

20

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Hexapoden (17) an einem horizontal verschiebbar und/oder verschwenkbar gelagerten Träger (9) befestigt ist.

25

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Hexapoden (17) über Schienen (8) im Raum verfahrbar und/oder verschwenkbar ist.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Hexapoden (17 und 24) wasserhydraulisch antreibbar sind.

15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkzeug (20) in z-Achse verfahrbar ist.

35

16. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, im Bereich der Medizintechnik als Operationsroboter, insbesondere in der Chirurgie im Submillimeter-Bereich, wie der Neurochirurgie, der Ophthalmologie, der HNO-Chirurgie, der Orthopädie usw., wobei das Werkzeug (20) als Endoskop (21) oder als ein anderes chirurgisches Besteck ausgebildet ist.

40

17. Verwendung einer Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der zu behandelnde Körperteil eines Patienten (13) insbesondere mittels eines stereotaktischen Rahmens (15) mit dem ersten Hexapoden (17) verbunden ist.

45

18. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15 als Telemanipulator oder als sich bewegender Roboter in unstrukturiertem, unbekanntem oder gefährlichen Gelände.

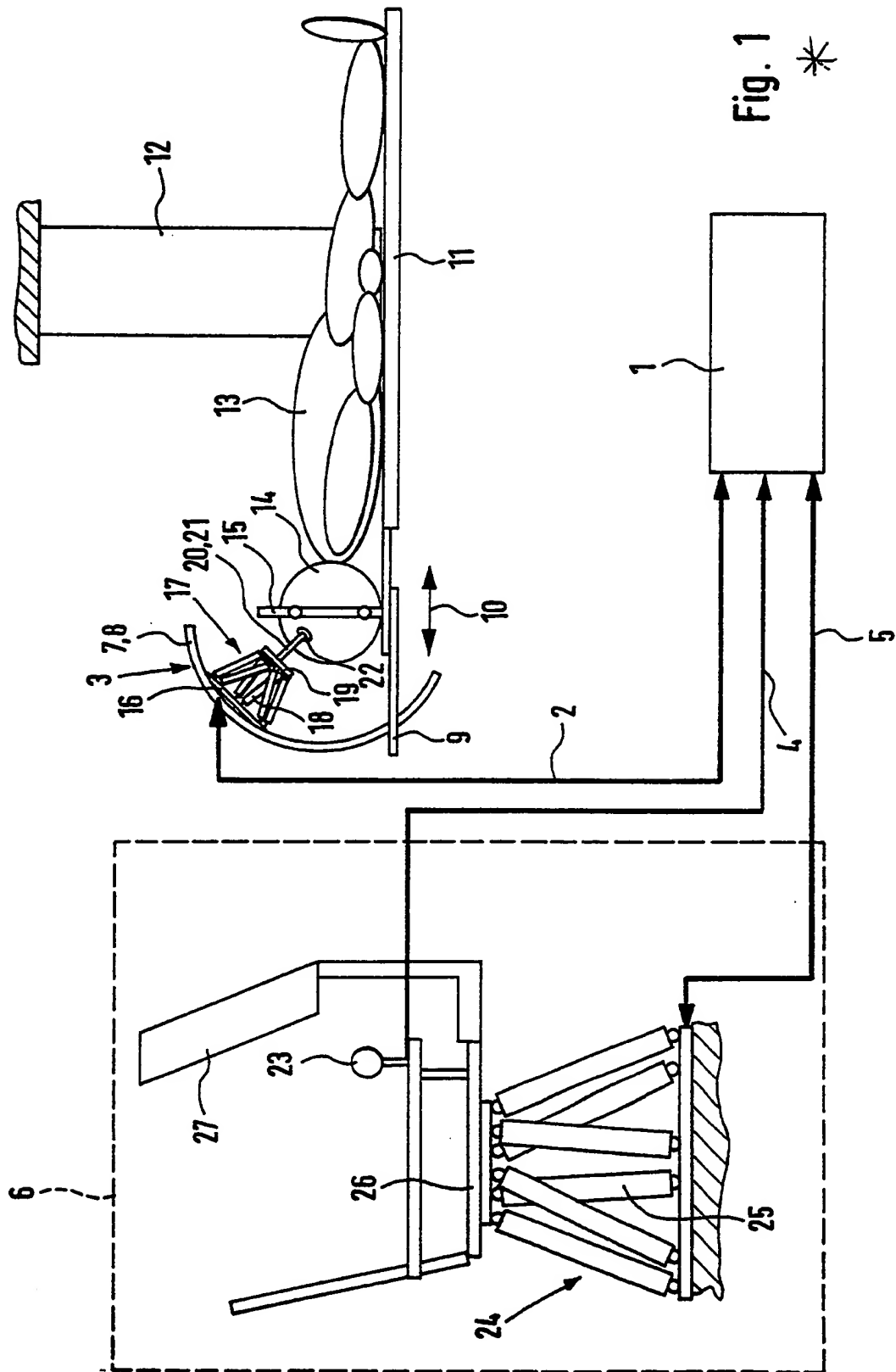
50

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65



Best Available Copy

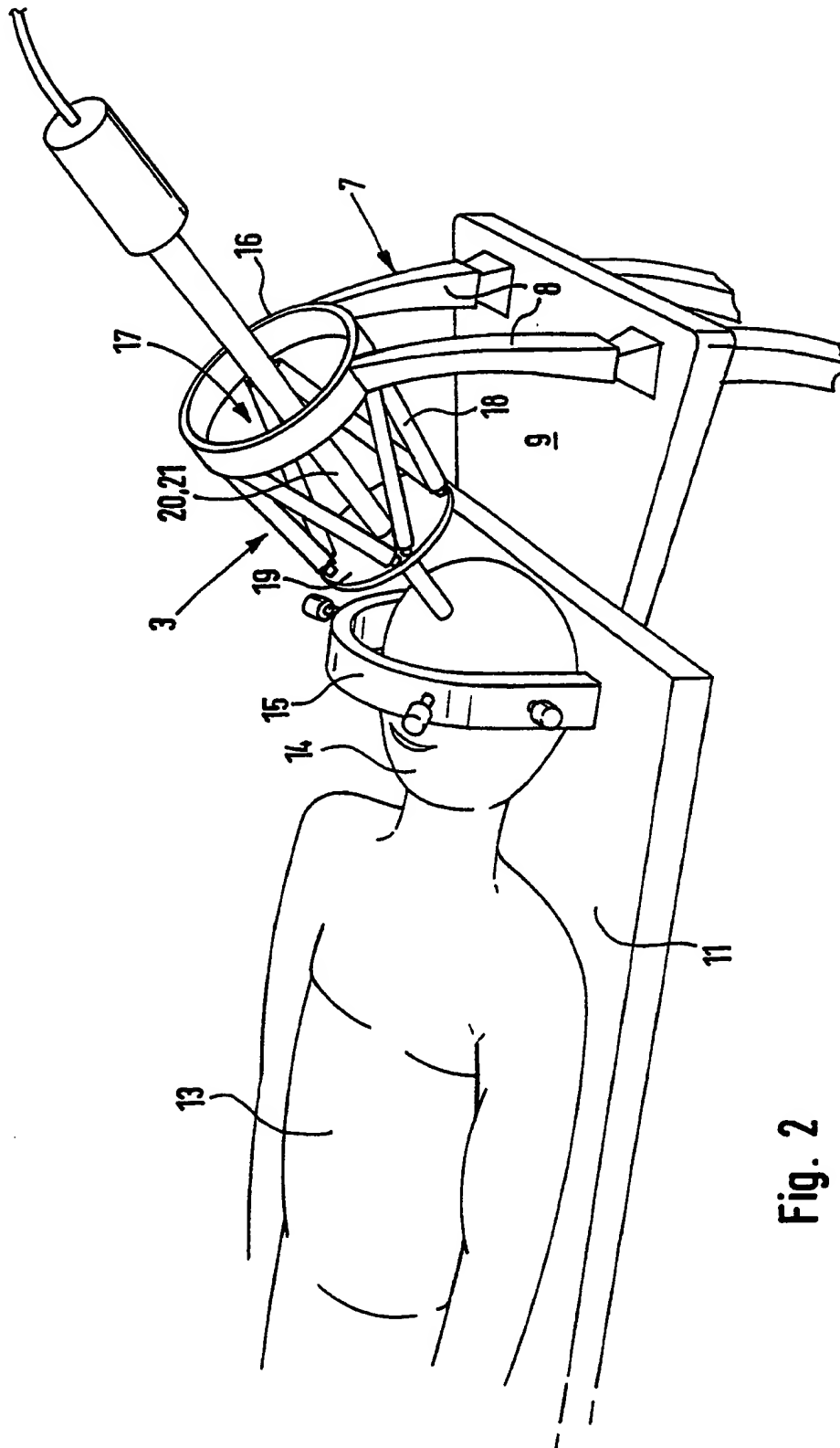


Fig. 2

Best Available Copy

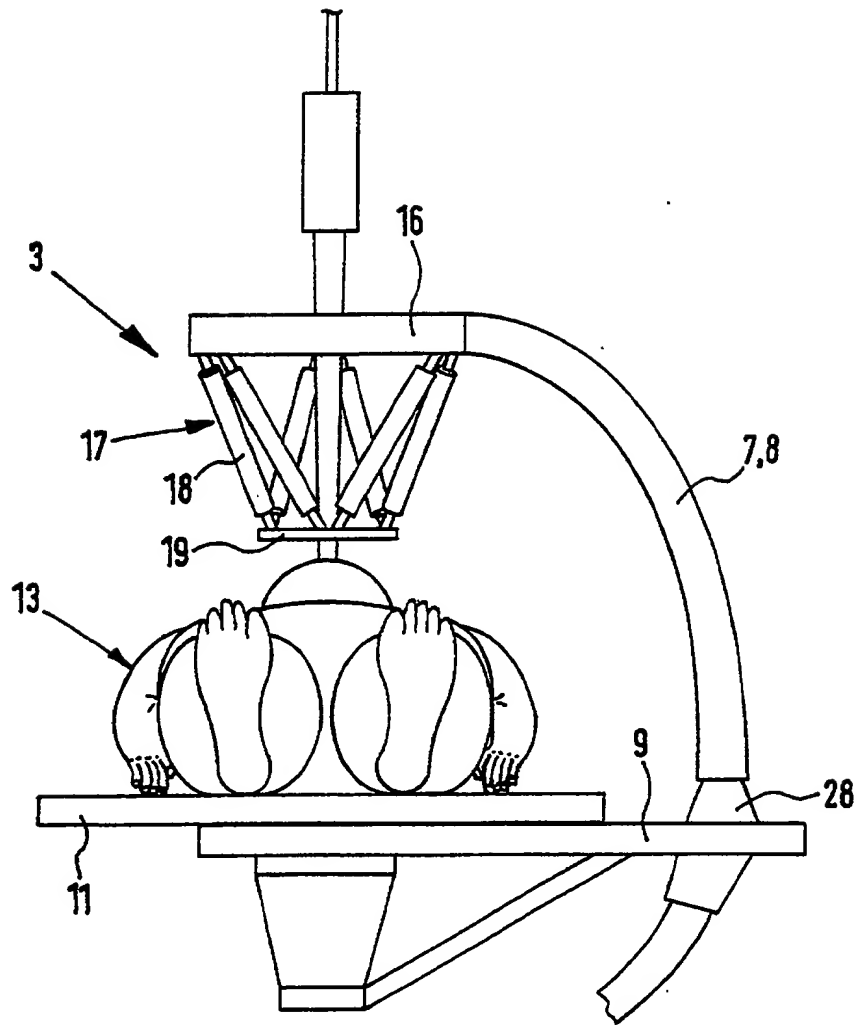


Fig. 3

Best Available Copy